



Health and Post-Corona: Air Filtration through Building Skins as Biological Membranes

ARTICLE INFO

Article Type

Analytic Study

Authors

Ghazaleh Shams

Mohammad Moshari*

How to cite this article

Shams Gh, Moshari M. Health and Post-Corona: Air Filtration through Building Skins as Biological Membranes. *Naqshejahan*. 2022 Jan 10; 11(4):44-59.

<https://doi.org/10.21860/naqshejahan.11.4.3.2>

1. Architecture Department, Faculty of Architecture and Urbanism, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.
2. Assistant Professor of Environmental Planning, Management & Education Department, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran.

*Correspondence

Address: Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran.

Email: moshari@ut.ac.ir

Phone: 021 6111 3154

Article History

Received: 29 Sep 2021

Accepted: 10 Jan 2022

ePublished: 10 Jan 2022

ABSTRACT

Aims: Nowadays, air pollution and rising greenhouse gases are among the major problems in the world. This problem that affects not only human life and health, but also has devastating effects on global warming. Concerns about pandemic diseases have increased the importance of healthy air and the health of citizens. The purpose of this study is to introduce the capacities of biological membranes as a model for application in the fabrication of synthetic and environmentally friendly materials in building skins.

Materials & Methods: The research method is quasi-experimental, which is based on simulation of the effects of using the proposed shell of the research. The designed operational model represents the production of artificial shells, which have the ability to absorb air pollutant particles and can also warn if the amount of these pollutants increases with color change. The use of lipid-like peptoids - abnormal particles mimicked by peptides and proteins and similar to cell membrane phospholipids - to simulate the plasma membrane of cells and build this synthetic shell has been suggested in this study.

Findings: These molecules, like plasma membrane phospholipids, can attach to side chains and other molecules to absorb pollutant particles, turning them into harmless particles. Therefore, these shells can be produced with special features and functions such as self-repair, self-assembly and air filtration.

Conclusion: The research emphasizes on the necessity of preparation for the post-Pandemic age. Cheap and efficient production, the availability of amines needed to make peptide chains, more chemical stability and heat resistance of peptoids than phospholipids, make these molecules a good choice for building shells as environmentally friendly materials.

Keywords: Air filtration, Bio-inspired materials, Living Building Skins, Environmental-Friendly Materials, Citizen Health, Post-Pandemic Age

CITATION LINKS

[1] Indirect impact of COVID-19 on environment ... [2] Prioritizing for Healthy Urban Planning ... [3] Contribution of city prosperity to decisions on healthy building ... [4] Challenges and strategies for effective plastic waste management ... [5] Challenges, opportunities, and innovations for effective ... [6] Barium oxide as a modifier to stabilize ... [7] Synthesize and Investigation ... [8] Co-Ni Bimetallic Catalysts Coated on Cordierite ... [9] Estimation of vibrational energy levels of diatomic molecules ... [10] Environmental, health, and safety issues ... [11] Criteria air pollutants and their impact ... [12] Green electrospun nanofibers and their application ... [13] A review of air filtration technologies for sustainable ... [14] Significance and progress of bionics. [15] Bioarchitecture: bioinspired art and architecture ... [16] Designing Approach to Energy Efficiency ... [17] Influence of permeability ratio on wind-driven ... [18] A study on terraced apartments and their natural ... [19] A novel design-based optimization framework ... [20] Past and Future Trends on the Effects ... [21] Evaluating the different boundary conditions ... [22] Optimal placement of shadow ... [23] Thermal and energy performance ... [24] Bioware fog collectors: the Texas horned lizard as ... [25] Probable cause of damage to the panel ... [26] Highly stable and self-repairing membrane-mimetic ... [27] Single-Stage Air Filtration of Particles ... [28] Biomimetic building skins: An adaptive approach. [29] A methodology for the generation of biomimetic design concepts. [30] Bio-Inspired Materials: Contribution of Biology ... [31] Natural and biomimetic artificial surfaces for superhydrophobicity ... [32] Self-Healing Bilayer Lipid Membranes Formed ... [33] Lipid self-assembly and lectin-induced reorganization ... [34] Peptoid polymers: a highly designable bioinspired material. [35] Peptoids for biomaterials science. [36] Peptoid nanosheets exhibit a new ... [37] Data mining and content analysis of the jury citations ... [38] Dilemma of green and pseudo green ... [39] Generating Synthetic Space ... [40] Determination of occupant's thermal ... [41] Folded double-skin façade ... [42] Multi-objective optimization of building-integrated ... [43] Bioinspired Azimuthally Varying Nanoscale ... [44] The Impact Assessment ... [45] Seasonal differences of subjective thermal ... [46] Designing optimization of devices ... [47] Multi-objective optimisation framework ... [48] The impact of Iwan as a traditional shading ... [49] Determining the Most Efficient Window ... [50] Effects of windward and leeward ... [51] Traditional Architecture for Future ... [52] Biological responses to physicochemical properties ... [53] Introducing an Innovative Variable Building ... [54] Antivirus-built environment: Lessons learned ... [55] Indoor Air Quality: Rethinking rules of building design ...

سلامت و پساپاندمی: فیلتر هوا از طریق پوسته‌های ساختمان به عنوان غشاهای زیستی

غزاله شمس^۱، محمد مشاری^{۲*}

- ۱- کارشناسی ارشد معماری؛ دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه آزاد واحد قزوین، قزوین، ایران.
- ۲- استادیار گروه برنامه‌ریزی، مدیریت و آموزش محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران. (نویسنده مسئول)

چکیده

اهداف: امروزه آلودگی هوا و افزایش گازهای گلخانه‌ای از جمله مشکلات عمده در جهان است؛ مشکلی که نه تنها زندگی و سلامت انسان تحت تاثیر قرار می‌دهد، بلکه اثرات مخربی نیز بر گرمایش جهانی دارد. نگرانی از بیماری‌های حاصل از پاندمی، اهمیت هوای سالم و سلامت شهروندان را افزایش داده است. هدف از این پژوهش، معرفی ظرفیت‌های غشاهای زیستی به عنوان الگو برای کاربرد در ساخت متریال‌های مصنوعی و دوستدار محیط زیست در پوسته‌های ساختمانی است.

ابزار و روش‌ها: روش تحقیق این پژوهش شبه تجربی است که بر پایه شبیه‌سازی اثرات حاصل از بکارگیری پوسته پیشنهادی پژوهش به انجام می‌رسد. مدل عملیاتی طراحی شده، معرف تولید پوسته‌های مصنوعی برای ساختمان‌ها است، که قابلیت جذب ذرات آلاینده هوا را داشته و همچنین می‌تواند در صورت افزایش میزان این آلاینده‌ها با تغییر رنگ هشدار دهد. استفاده از پیتوئیدهای شبه لیپید - ذرات غیرطبیعی تقلید شده از پیتیدها و پروتئین‌ها و شبیه به فسفولیپیدهای غشای سلولی - برای شبیه‌سازی غشای پلاسمایی سلول‌ها و ساخت این پوسته مصنوعی در این پژوهش پیشنهاد شده است.

یافته‌ها: این مولکول‌ها مانند فسفولیپیدهای غشای پلاسمایی، می‌توانند به زنجیره‌های جانبی و مولکول‌های دیگری متصل شوند، تا ذرات آلاینده را جذب، و آن‌ها را به ذرات بی‌خطر تبدیل می‌کنند. بنابراین می‌توان این پوسته‌ها را با ویژگی‌ها و عملکردهای خاص مانند خود ترمیمی، خود مونتاژی و فیلتراسیون هوا تولید کرد.

نتیجه‌گیری: این تحقیق بر ضرورت آمادگی برای عصر پس از همه‌گیری تاکید دارد. تولید ارزان و کارآمد، در دسترس بودن آمین‌های مورد نیاز برای ساخت زنجیره‌های پیتوئید، پایداری شیمیایی و مقاومت حرارتی بیشتر پیتوئیدها از فسفولیپیدها، این مولکول‌ها را به گزینه‌ای مناسب برای ساخت پوسته‌های ساختمانی به عنوان مصالح دوستدار محیط زیست، تبدیل می‌کنند.

کلمات کلیدی: فیلتراسیون هوا، متریال‌های الهام‌گرفته از طبیعت، پوسته‌های ساختمانی زنده، مصالح دوستدار محیط زیست، سلامت شهروندان، دوران پسا کرونا

مقدمه

محیط زیست سالم، امروزه بیش از هر زمان دیگر اهمیت یافته است؛ موضوعی که اهمیت آن در دوران پسا کرونا روز به روز افزایش خواهد یافت. در ادبیات تخصصی موضوع، مواردی چون ارزیابی اثرات زیست محیطی قرنطینه، مطالعه داده‌های مانیتورینگ در محل و شاخص کیفیت هوا و سایر راهبردهای مربوط، و اهمیت محیط زیست سالم، از مهمترین چالش‌های دوران پسا کرونا معرفی شده است. نوآوری در محصولات و فناوری‌های موجود می‌تواند به دستیابی به پایداری کمک کند. [۵-۱] تحولات دوران پسا کرونا اهمیت استفاده از مواد و مصالح نوین ساختمانی را بیش از پیش افزایش داده است. [۶-۱۰] به نظر می‌رسد که تنها راه برای مدیریت این دوران، تغییرات اساسی در نگاه به کیفیت هوا و سایر شاخص‌های زیست محیطی است. از این رو معماری و شهرسازی در دوران پسا کرونا یکی از چالش‌برانگیزترین موضوعات در حوزه‌های مختلف مدیریت و برنامه‌ریزی به شمار می‌آید.

آلودگی هوا یکی از مسائل مهم در دنیای امروز هم در کشورهای در حال توسعه و هم توسعه یافته است. افزایش سریع جمعیت و تقاضا برای انرژی منجر به انتشار آلاینده‌های سمی در هوا شده است که بر روی آن محیط اطراف و نیز سلامت انسان تاثیر می‌گذارد. به گزارش سازمان بهداشت جهانی، سالانه حدود چهار میلیون مرگ و موارد متعددی از بیماری‌های تنفسی در کشورهای حال توسعه از آلودگی هوا ناشی می‌گردد [۱۱]. از سوی دیگر، توسعه صنعتی در اواسط قرن نوزدهم منجر به تولید این آلاینده‌ها شده و نتایج آن در اواسط قرن بیستم به تدریج در کشورهای مختلف نمایان گردید. آلودگی هوا، هم در محیط (خارج) و هم در خانه (داخل) به عنوان بزرگترین خطر زیست محیطی برای سلامتی محسوب می‌گردد که مسبب حدود یک مورد از هر نه مرگ سالانه است [۱۲]. سلامت انسان، پدیده‌های هواشناسی، عملکرد و بازده کشاورزی و متریال‌ها به شدت تحت تاثیر انواع مختلفی از آلاینده‌های هوا منتشر شده از بخش‌های مختلف قرار دارند. آلاینده‌های هوا همچنین به ساختمان‌ها، اکوسیستم‌ها و جمعیت حیات وحش آسیب می‌رسانند. فقدان

فن‌آوری‌ها و سیاست‌های کنترل‌کننده سبب بدتر شدن کیفیت هوا شده و منجر به افزایش غلظت آلاینده‌های هوا می‌گردد [۱۱]. بنابراین یافتن راهکارهایی برای کاهش این آلاینده‌ها در زمینه‌های مختلف از جمله معماری و ساخت و ساز، ضروری به نظر می‌رسد. در سال‌های اخیر تلاش‌هایی برای رسیدن به این هدف صورت گرفته است. یکی از این راه‌حل‌ها فناوری‌های تصفیه هستند. در حال حاضر فیلتراسیون پرکاربردترین روش تصفیه است. فیلتراسیون هوا به عنوان یکی از امیدوارکننده‌ترین و موثرترین روش‌ها برای حذف ذرات معلق و کاهش آلودگی هوا، در طول سه دهه اخیر به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است [۱۲]. موثرترین رایج‌ترین روش تصفیه برای گازهای مضر جذب سطحی است. انواع مختلفی از متریال‌های تصفیه هوا در صنعت ساختمان تولید شده است که از جمله آن‌ها [۱۳] می‌توان اشاره کرد به:

- متریال فیلتر هوای گلس فایبر
- فیبر کربن فعال (ACF)
- فیبر نانومتری
- فیلتر هوا با نفوذ بسیار کم یا فیلتر ULPA با الیاف شیشه‌ای فوق العاده ظریف
- متریال فیلتر فیلم ترکیبی
- متریال نانو تیتانیوم فوتوکاتالیستی دی اکسید (TiO₂)
- متریال فیلتر الکتریکی و غیره
- فناوری‌های دیگر مانند دیوار ترومب و غیره

فیلتراسیون هوای ساختمان یکی از اولویت‌های صنعت ساختمان به شمار می‌آید. غشاهای فیلتراسیون هوا مانند غشاهای نانوفیبری الکترواسپون دسته دیگری از فناوری‌های فیلتراسیون هستند که نقش بسیار مهمی در فرآیند فیلتراسیون دارند که بازده فیلتراسیون و نتیجه فیلتراسیون را دربرمی‌گیرد. [۱۲] علیرغم وجود این فناوری‌های فیلتراسیون در صنعت ساختمان، تحقیقات کمتری در زمینه معماری بیونیک برای

یافتن راه حلی برای فیلتراسیون هوا انجام شده است. با گسترش علم بیونیک در زمینه‌های مختلف علمی مانند معماری، استفاده از راه‌حل‌های طبیعی برای حل مشکلات انسان‌ها و استفاده از مصالح هوشمند، می‌توان راه‌حل‌هایی برای کاهش آلاینده‌های هوا از طریق فناوری‌های مرتبط با صنعت ساختمان یافت. ادبیات موضوع اشاره می‌نماید که بیونیک یک علم فناوریانه برای مطالعه ساختارها، خواص، عناصر، رفتار و تعامل سیستم‌های بیولوژیکی [۱۴]، توسط زیست‌شناسان، فیزیکدانان، شیمی‌دانان و دیگر دانشمندان [۱۵] به منظور تهیه ایده‌های جدید طراحی، اصول و قواعد کار و ساختار سیستم برای مهندسی است. [۱۴] مواد و مصالح بیولوژیکی از مقیاس مولکولی گرفته تا مقیاس نانو، میکرو و ماکرو، اغلب به شیوه‌ای سلسله‌مراتبی با نانومعماری پیچیده سازماندهی شده‌اند، که در نهایت تعداد بی‌شماری از عناصر کاربردی مختلفی را که به معنای تقلید از طبیعت زنده است، تشکیل می‌دهد. [۱۵] بر اساس رویکرد پژوهش، سلامت موضوعی طراحیانه است [۱۶] و لازم است با نگاهی به حل مساله، به جنبه‌های مختلف آن پاسخ گفت. تغییرات سریع آلاینده‌های جوی و چشم انداز گرم‌تر شدن زمین [۱۷-۲۰] بر اهمیت و ضرورت پرداختن به موضوع می‌افزاید.

مواد و روش‌ها

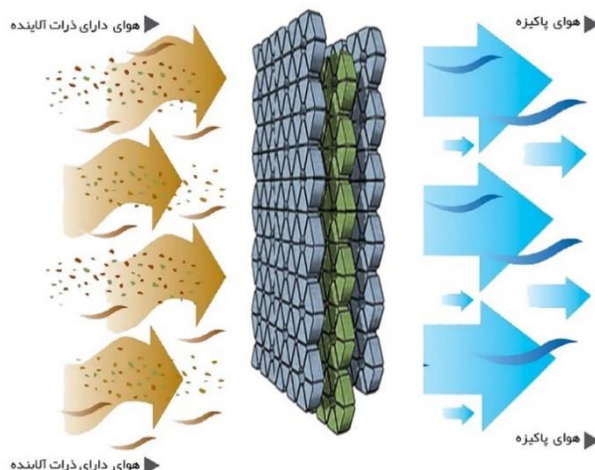
پژوهش از نظر نوع، یک پژوهش «توسعه‌ای» است و می‌کوشد تا کاربردهای عملیاتی مربوط به مفاهیمی آشنا در حوزه‌های دیگر را برای معماری و شهرسازی در دوران پساکرونا معرفی نماید. روش تحقیق، کیفی است. با استفاده از روش کیفی، اهداف پژوهش محقق می‌شود.

این تحقیق تجویزی با هدف نشان دادن چگونگی امکان مفید بودن پپتوئیدهای شبه لیپید برای فناوری و کاربرد ساختمان مفید و چگونگی کاربرد فناوری‌های مبتنی بر پپتوئیدهای شبه لیپید در معماری و صنعت ساختمان، انجام می‌شود. این تحقیق با تجزیه و تحلیل اسناد کتابخانه‌ای و سوابق مکتوب مختلف که در متن ذکر شده است و بررسی مطالعات موردی، به دنبال

روش شناسی پژوهش نشان می دهد که این پوسته را می توان با استفاده از پلیمرهایی به نام پیتوئید تولید کرد. پیتوئیدها پلیمرهای مصنوعی ساخته شده از آمین ها هستند که ساختاری مشابه پروتئین ها و پپتیدها دارند. این پلیمرهای شبه لیپید، می توانند مانند فسفولیپیدهای غشای پلاسمایی، لایه بندی شوند و عملکردهای مشابهی داشته باشند [۲۶]. این پوسته مصنوعی، مانند غشای پلاسمایی، می تواند دارای زنجیره های جانبی باشد که آلاینده ها را جذب، و بنابراین آن ها را از محیط خارج کرده و به ذرات بی خطر تبدیل کند. این پوسته به دلایل متعددی از جمله تولید ارزان و کارآمد، در دسترس بودن آمین های مورد نیاز برای ساخت زنجیره های پیتوئیدی، پایداری شیمیایی و مقاومت حرارتی بیشتر پیتوئیدها نسبت به فسفولیپیدها و غیره، یک فناوری کارآمد در صنعت ساختمان خواهد بود [۲۶]. این پوسته ساخته شده از پیتوئیدهای شبه لیپید، در واقع یک متریال الهام گرفته شده زیستی است که با توجه به تحقیقات انجام شده، توانایی خود مونتاژی و خود ترمیمی مانند غشای پلاسمایی را دارد. در آینده نزدیک پیتوئیدهای شبه لیپید ممکن است برای فناوری و کاربرد ساختمان مفید باشند.

نشان دادن امکان تولید پوسته های مصنوعی برای ساختمان ها است که قابلیت جذب آلاینده های هوا را دارند و دارای ویژگی هایی مانند خود ترمیمی، خود مونتاژی و فیلتر هوا هستند.

از نظر روش شناختی، فیلتراسیون هوای ساختمان با کمک ساختار غشای پلاسمایی سلول، نوعی تعامل صنعت ساختمان با محیط زیست طبیعی به شمار می آید. توضیح چگونگی استفاده احتمالی از ساختار غشای پلاسمایی سلول با استفاده از بیومیمتیک، برای تولید پوسته ای برای ساختمان ها، مهمترین هدف عملیاتی پژوهش محسوب می شود. به عبارت دیگر هدف عملیاتی پژوهش تبیین این مهم است که ساختار غشای پلاسمایی سلول می تواند به عنوان فیلتر هوا عمل می کند. تجویز استفاده از روش های زیست دوست و فناوری های سازگار با محیط زیست، از مهمترین اهداف پژوهش به شمار می آید؛ پوسته ای که قادر به جذب آلاینده ها و تبدیل آن ها به ذرات بی خطر است. کاربرد فناوری های جدید در کنار مواد و مصالح ساختمانی [۲۱-۲۵] فرصت های فراوانی را برای توسعه صنعت ساختمان با کمک فناوری های سازگار با محیط زیست ایجاد کرده است.



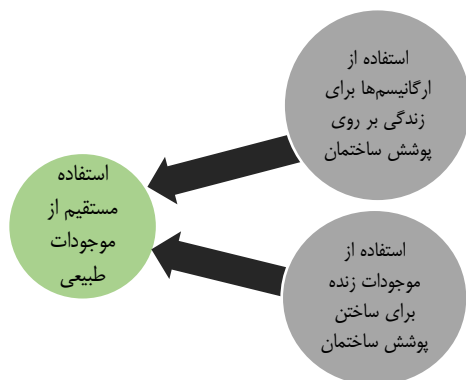
شکل ۱. چارچوب مفهومی پژوهش برای فیلتراسیون هوا از طریق غشای مصنوعی در پوسته ساختمان ها.

همکاران بیان کردند، طیف وسیعی از فناوری های تصفیه هوا برای حذف انواع مختلف آلاینده ها به صورت تجاری در دسترس هستند. براساس گزارش سازمان بهداشت جهانی، میزان اثرات نامطلوب و سوء آلودگی هوا بر سلامتی، حتی در

یافته ها

بحث کیفی در یافته های پژوهش، نشان از امکان پذیر بودن ایده مطرح شده در پژوهش دارد. همانطور که اورلاندو و

اظهارات بادارنا و همکاران، بیومیمتیک یک روش طراحی در مهندسی و یک رشته نوظهور در معماری می‌باشد، که به سرعت در حال رشد است [۲۹]. العبیدی و همکاران در پژوهش‌های خود بیان کردند که زیست‌شناسی پارادایم جدیدی را در زمینه‌های مختلف، از جمله مهندسی، به عنوان پایه‌ای جدید برای تفکر فن‌آورانه ارائه می‌کند و از طریق بیومیمیکری، یا تقلید از طبیعت، با معماری ادغام شده است که طبیعت را به عنوان پایگاه عظیمی از داده‌های مربوط به مکانیسم‌ها و استراتژی‌ها، برای پیاده‌سازی در طرح‌ها، در بر می‌گیرد. [۲۸]



شکل ۳. پوشش‌های ساخته شده از موجودات طبیعی

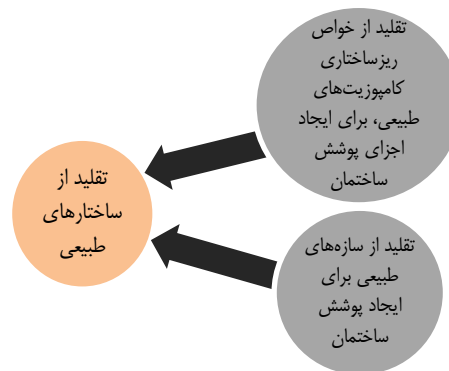
همانطور که ایمانی و همکاران بیان کردند فناوری ساخت و ساز پیشرفت چشمگیری در استفاده از متریال‌های الهام گرفته از طبیعت تجربه داشته است. حدود ۰.۲۵٪ از همه موجودات طبیعی شناخته شده، امروزه در صنعت کاربرد دارند. تقلید از جنبه‌های ساختاری، رفتاری، عملکردی و مورفولوژیکی موجودات طبیعی می‌تواند منجر به تولید انواع متعددی از متریال‌های الهام گرفته از طبیعت شود که همه روش‌های جدیدی را برای طراحی سازه، عایق حرارتی، عایق رطوبتی و ... معرفی می‌کنند. [۳۰] یک گروه از این متریال‌ها، پوشش‌های ساختمانی الهام گرفته از طبیعت هستند که طبق تحقیقات ایمانی و همکاران، شامل انواع مختلفی است [۳۰] (شکل ۱) که در زیر دسته‌بندی می‌شود:

۱. تقلید از ساختارهای طبیعی

۲. استفاده مستقیم از موجودات طبیعی

غلظت‌های کمتر آلاینده‌ها، رو به افزایش است. همانطور که اورلاندو و همکاران مطرح کردند، شش فناوری فیلتر هوا [۲۷] وجود دارد که عبارتند از: ۱. فیلترهای مکانیکی ۲. فیلترهای الکترواستاتیکی ۳. فیلترهای جاذب ۴. اکسیدان فوتوکاتالیستی (PCO) ۵. پلاسمای غیرحرارتی (NTP) و ۶. فیلترهای نانوفیبری الکترواسپون. این فناوری‌های فیلتراسیون توانایی‌های متفاوتی برای حذف ذرات معلق و ترکیبات گازی دارند.

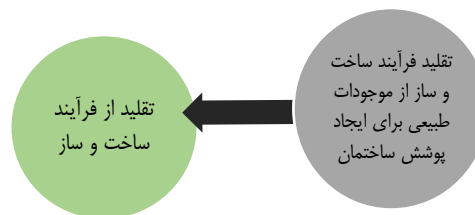
فیلترهای جاذب در حذف آلاینده‌های گازی از طریق متریال‌هایی مانند کربن فعال یا ژئولیت‌ها، بسیار کارآمد هستند.



شکل ۲. پوشش‌های تقلید شده از ساختارهای طبیعی

به گفته ال وی و همکاران، غشاهای فیلتراسیون هوا در دو دهه اخیر به دلیل نقش مهمی که در فرآیند فیلتراسیون دارند، بسیار مورد بررسی قرار گرفته‌اند و توسعه همزمان فناوری‌های فیلتراسیون و غشاهای فیلتراسیون با ظهور مواد جدید با خواص فیزیکی و شیمیایی بالا افزایش یافته است [۱۲]. این غشاهای تصفیه‌کننده هوا در صنعت معماری و ساخت و ساز کاربرد دارند. به عنوان مثال، پوسته‌های ساختمان می‌توانند به عنوان غشاهای فیلتر هوا عمل کنند. العبیدی و همکاران بیان کردند که بسیاری از انواع پوسته‌های ساختمانی هوشمند و پاسخگو به محیط ایجاد شده‌اند، اما بهبود ساختار و عملکرد آن‌ها برای دستیابی به سازگاری همچنان نامشخص باقی مانده است [۲۸]. یکی از راه‌های ساخت پوشش‌های ساختمانی با عملکرد و ساختار کارآمد، تقلید از نمونه‌های موجود در طبیعت و استفاده از فرم، عملکرد و ساختار آن‌ها است. مطابق

۳. تقلید از فرآیند ساخت و ساز

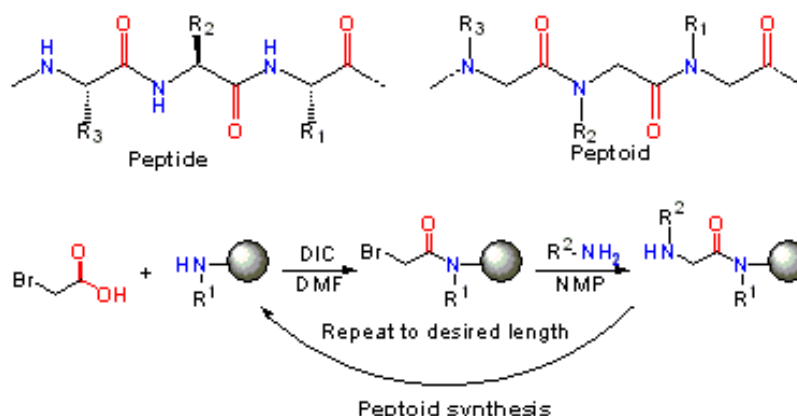


شکل ۴. پوشش‌های ساخته شده با استفاده از فرآیند ساخت و ساز موجودات طبیعی در انواع مختلف پوشش‌های ساختمانی الهام گرفته از طبیعت.

مدل پیشنهادی در پژوهش، از هماهنگی فرم و محتوا حکایت دارد. بر اساس جمع بندی مدل مفهومی پژوهش، می‌توان از میکروساختارها و نانو ساختارهای طبیعی برای تولید محصولات بهتر و کاربردی‌تر در زمینه معماری و صنعت ساخت و ساز تقلید کرد [۳۰]. همانطور که بوشان و همکاران بیان کردند، طبیعت متریال‌ها، اشیا و فرآیندهایی را توسعه داده است که از مقیاس ماکرو تا مقیاس نانو کارایی داشته و تعداد زیادی از موجودات از جمله باکتری‌ها، گیاهان، جانوران خشکی و آبی، و صدف‌های دریایی وجود دارد که خواص آن‌ها حتی از نظر تجاری نیز مورد توجه می‌باشد. حوزه نوظهور بیومیمتیک همچنین به فرد امکان تقلید از زیست یا طبیعت را برای توسعه نانومتریال‌ها، نانودستگاه‌ها و فرآیندهایی می‌دهد که خواص مطلوبی را ارائه می‌دهند [۳۱]. یکی از الگوهای ساخت غشاهای مصنوعی، ساختار غشای پلاسمایی سلول است. طبق پژوهش جین و همکاران، از آنجایی که غشاهای سلولی منابع بزرگ الهام، در بیوتکنولوژی و نانوتکنولوژی هستند، تلاش‌های زیادی برای ایجاد نانومتریال‌های دو بعدی مصنوعی شبه-غشا، که از لیپیدها مونتاژ شده‌اند، یا آنالوگ‌های مصنوعی لیپیدها به عنوان مثال، کوپلیمرهای بلوکی، پپتیدهای شبه لیپید انجام شده است. [۲۶] پوشش‌های ساختمانی الهام گرفته از طبیعت، به دلیل استفاده از فناوری‌های سازگار با محیط زیست؛ با نگاه جامع به توسعه

پایدار اقتصادی، فرهنگی و اجتماعی، و زیست محیطی نیز هماهنگی دارند.

یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی، کاربردهای موثری نیز در حفظ سلامت ساکنان و مراجعه کنندگان به بنا در دوره پاندمی خواهد داشت. ساختار غشای پلاسمایی از دو لایه فسفولیپیدی ساخته شده است. مولکول‌های فسفولیپید از گلیسرول، یک گروه فسفات و دو زنجیره اسید چرب تشکیل شده‌اند. غشای پلاسمایی دارای ویژگی‌های مختلفی مانند خود مونتاژی و خود ترمیمی است. مطابق پژوهش‌های جین و همکاران، خود مونتاژی مولکولی کلید ایجاد ساختارهای عملکردی کارآمد و مشخصی در زیست‌شناسی می‌باشد. به عنوان مثال، خود مونتاژی مولکول‌های لیپید و پروتئین‌های غشا در تعریف ساختمان سلولی و فعال کردن عملکرد سلول بسیار مهم است. از منظر متریال، غشاهای سلولی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند زیرا آن‌ها دسته‌ای از نانومتریال‌های دو بعدی را ارائه می‌کنند که دارای خواص نسبتاً غیرعادی مانند توانایی خود ترمیمی هستند [۲۶]. همانطور که کریسی و همکاران سیستم‌های بیولوژیکی بیان شده مانند غشای پلاسمای، ترمیم خودکار آسیب را نشان می‌دهند و الهام‌بخشی برای توسعه مواد خود ترمیمی هستند که توانایی تشخیص یکپارچگی ساختاری و «خودترمیمی» را در هنگام بروز آسیب دارند و به طور بالقوه برای بسیاری از رشته‌های مهندسی مفید است [۳۲]. از سوی دیگر به بیان سیچ و همکاران، غشای پلاسمایی نمونه‌ای برجسته از خود-سازماندهی در زیست‌شناسی است. بلوک‌های ساختمانی اصلی آن پروتئین‌ها و لیپیدها هستند که با فرآیند خود مونتاژی، به صورت یک دولایه لیپیدی سیال که عمدتاً توسط نیروهای آبگریز هدایت می‌شود، درمی‌آیند. [۳۳] مروری بر ظرفیت‌های مولکولی نشان از کارایی مدل پیشنهاد شده در این پژوهش دارد.

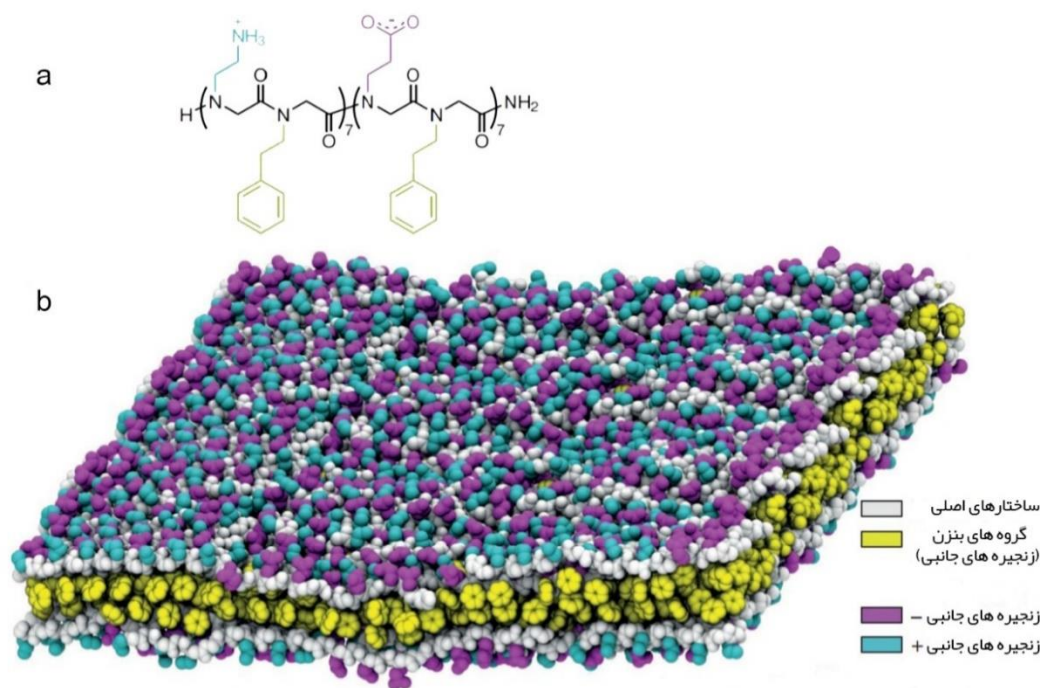


شکل ۵. مقایسه ساختار پپتیدها و پپتوئیدها و نحوه تبدیل پپتید به پپتوئید. [۳۴]

غشا به دلایلی از جمله تحمل افزوده شدن اجسام کاربردی مانند زنجیره‌های جانبی پپتوئید در بخش‌های مختلف، ایجاد پیچیدگی چند جزئی و ارائه عملکردی شبیه پروتئین، [۳۶] مستحکم است. این زنجیره‌های جانبی می‌توانند گازهای آلاینده هوا را جذب کرده و آن‌ها را به مولکول‌های بی‌خطر تبدیل کنند.

در روش شناسی تحلیل آثار معماری و شهرسازی معاصر ایران و جهان [۳۷-۴۰] چیزی که بسیار خودنمایی می‌کند، جایگاه مواد و مصالح نوین ساختمانی است. در این میان، رویکرد جامع به توسعه پایدار اقتصادی، فرهنگی و اجتماعی، و زیست محیطی [۴۱-۵۱] موضوعی بسیار مهم در ساختار یافته‌های پژوهش محسوب می‌شود. بر اساس فرضیات تحقیق، نگاه پایدار نوعی نگاه جامع، همراه با عنایت و توجه به بخش‌های مختلف موضوع است. مواد و مصالح ساختمانی سازگار با محیط زیست به نحوی تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر کنترل پاندمی و آلودگی‌های ناشی از آن دارند. [۵۲-۵۵] بر اساس یافته‌های پژوهش، تحلیل کیفی اثر غشاهای زیستی، در دوران پسا کرونا اولویت یافته است، به نحوی که مدل فیلتر هوا از طریق پوسته‌های ساختمان با الگوبرداری از غشاهای زیستی را به عنوان نمونه‌ای قابل ارایه در صنعت ساختمان پیشنهاد می‌نماید. الگوی مورد نظر در هماهنگی با محیط زیست و سلامت ساکنان و مراجعه کنندگان، به خصوص در دوره پاندمی و دوران پسا کرونا از اهمیت به سزایی برخوردار است.

رویکرد تحلیلی به ساختار اتمی نشان می‌دهد که این لایه‌ها با کمک فرآیندهای بیوشیمیایی می‌توانند تصفیه کننده هوا باشند. همانطور که آرونالانو و همکاران بیان نمودند، متریال‌هایی که می‌توانند به راحتی با انجام تنظیماتی ویژگی‌های بیوشیمیایی، مورفولوژیکی و مکانیکی سیستم‌های بیولوژیکی طبیعی را ارائه دهند، مورد توجه ویژه علم بیومتریال‌ها هستند. پپتوئیدها یا گلیسین‌های جایگزین شده با پلی‌N، دسته‌ای از ماکرومولکول‌های پپتیدومیمتیک کاملاً قابل تنظیم، می‌توانند به طور بالقوه پیشرفت قابل توجهی را در علم بیومتریال‌ها ایجاد کنند. [۳۵] طبق پژوهش‌های چین و همکاران، پپتوئیدها می‌توانند برای ساخت غشاهای مصنوعی مورد استفاده قرار گیرند. پپتوئیدها ذرات تقلید شده غیرطبیعی پپتیدها و پروتئین‌ها هستند که مورد توجه ویژه قرار گرفته‌اند، زیرا می‌توانند به صورت ارزان و کارآمد سنتز شده و می‌توان از چند صد آمین تجاری موجود برای دستیابی به تنوع در زنجیره جانبی بزرگ استفاده کرد و همچنین از نظر شیمیایی و حرارتی پایدار هستند. همه این ویژگی‌ها پپتوئیدها را به عنوان آنالوگ‌های مصنوعی لیپیدها، برای خود مونتاژی متریال‌های دوبعدی تقلید شده از غشا بسیار جذاب می‌کند. [۳۶] چین و همکاران همچنین متریال‌هایی را نشان دادند که با تقلید از غشا و با استفاده از پپتوئیدها ساخته شده و تعدادی از خواص مرتبط با غشای سلولی از جمله خود مونتاژی و توانایی خود ترمیم را نشان می‌دهند. آن‌ها همچنین بیان می‌کنند که ساختار



شکل ۶. یک نانوصفحه پپتوئیدی به دست آمده از شبیه سازی دینامیک مولکولی.

a. یک پپتوئید ۲۸ بخشی آمفیپاتیک که به نانو صفحات گسترده ای با ضخامت تنها دو مولکول شکل گرفته است.

b. عکس از یک ساختار دولایه که از شبیه سازی دینامیک های مولکولی به دست آمده است. [۳۶]

بود. منواکسید کربن به عنوان یکی از عمده ترین مقادیر گازهای گلخانه ای و مضر برای محیط زیست، از اصلی ترین ذرات آلاینده هدف در این پژوهش می باشد.

رویکرد تحلیلی به مطالعات صورت گرفته نشان داد که یکی از این راه حل ها، فناوری های فیلتراسیون و در آن میان استفاده از غشاهای فیلترکننده هوا در پوسته ساختمان است. این پوسته ها می توانند ساختارهای متفاوتی داشته باشند و از متریال های متفاوتی ساخته شوند. این پژوهش امکان استفاده از ساختار غشای پلاسمایی را به عنوان الگو با استفاده از بیومیمتیک برای تولید پوسته ای برای ساختمان ها که به عنوان فیلتر هوا عمل می کند و مانند غشا دارای ویژگی های خودمونتاژی و خودترمیمی هستند، معرفی می کند. با این حال، این پژوهش شکافی را در خصوص فیلترهای هوای ساختمان نشان می دهد که در آن استفاده از متریال های الهام گرفته از طبیعت در فناوری های فیلتر هوا بسیار کم و کشف نشده است. موجودات طبیعی به دلیل سال های متمادی حضور در طبیعت، تغییر و تحول یافته و با شرایط محیطی بهترین سازگاری را یافته اند. متریال های الهام گرفته از طبیعت مانند غشاهای

بحث و نتیجه گیری

مطالعه پیشینه پژوهش نشان داد که آلودگی هوا یکی از معضلات بزرگ دنیای امروزی است که مشکلات زیادی را برای محیط زیست، ساختمان ها و سلامت انسان به همراه داشته است. امروزه یافتن راهکارهایی برای کاهش آلودگی هوا ضروری به نظر می رسد. از مسائل بسیار مهم در دنیای امروز کمک به کاهش ذرات آلاینده هوا و در نتیجه حفاظت از محیط زیست است که با بهره گیری از این پوسته می توان در این جهت گام برداشت. از سویی استفاده از پوسته مصنوعی ساخته شده از پپتوئیدها، به دلیل در دسترس بودن آمین های مورد نیاز برای ساخت آن ها و هزینه کم برای ساخت این پلی مرها، گزینه ای مناسب خواهد بود. عملکرد این پوسته به این صورت خواهد بود که ذرات آلاینده با برقراری پیوند شیمیایی با زنجیره های موجود در پوسته، که در پژوهش های آینده به طور کامل طراحی و آزمایش خواهد شد، جذب آن شده و پس از واکنش های شیمیایی مربوطه به شکل ذرات بی خطر به هوا آزاد می گردند. از جمله ذراتی که در پژوهش ها مورد بررسی قرار خواهند گرفت، منواکسید کربن و دی اکسید کربن خواهد

مصنوعی ساخته شده از پتئوئیدهای شبه لیپید می‌توانند به عنوان پوسته‌های ساختمان برای جذب آلاینده‌های هوا و تبدیل آن‌ها به مولکول‌های بی‌خطر استفاده شوند. توسعه یک چارچوب نظری که به مسائل و مشکلات جاری [۳۰] استفاده از مواد و مصالح ساختمانی الهام گرفته از طبیعت و به طور خاص غشاهای مصنوعی ساخته شده از پتئوئیدهای شبه لیپید به عنوان غشای فیلتر هوا در صنعت ساختمان می‌پردازد، مورد نیاز است. با استفاده از این چارچوب، نحوه ساخت و استفاده از غشاهای مصنوعی ساخته شده از پتئوئیدهای شبه لیپید و نحوه افزودن زنجیره‌های جانبی به ساختار غشای مصنوعی برای جذب ذرات آلودگی هوا، مشخص می‌شود. از مزایای بهره‌گیری از این فناوری، نوآوری در طراحی‌ها، حل مشکلات و مسائل انسان‌ها با ارائه راه‌حل‌های اثبات شده، ایجاد فرم‌ها و ساختارهای کارآمدتر، بهره‌گیری از استراتژی‌های سازگاری مختلف موجود در طبیعت و غیره می‌باشد.

این فناوری در انواع ساختمان‌ها با کاربری‌ها و ابعاد مختلف کاربرد دارد و به عنوان پوسته‌ای برای فیلتر کردن هوا و کاهش ذرات آلاینده درون و بیرون ساختمان عمل کرده و احتمال آسیب‌های بعدی مانند بیماری‌های تنفسی در افراد را کاهش می‌دهد. از این طریق، این پوسته در جهت رعایت یکی از موارد اصلی استانداردهای «ساختمان سالم» عمل می‌کند؛ یک سیستم مبتنی بر عملکرد چندگانه که ویژگی‌های محیط‌های ساخته شده را که بر سلامت و رفاه انسان‌ها تأثیر می‌گذارد، بررسی و کنترل می‌کند. نتیجه چنین راهکاری، به معنی کمتر قرار گرفتن ساکنین در معرض آلاینده‌ها خواهد بود. همچنین این فناوری، طرحی هوشمندانه و نوآورانه برای مقابله با آلودگی هوا و مبارزه با اثرات گازهای گلخانه‌ای که به دلیل وجود ذراتی مانند کربن مونواکسید و غیره ایجاد گردیده است، ارائه می‌دهد. بنابراین، کاهش ذرات آلاینده سبب کاهش اثرات گازهای گلخانه‌ای، و در نتیجه کاهش دمای کره زمین خواهد بود. مدیریت آلاینده‌ها، عامل کاهش تغییرات آب و هوایی، و در صورت استمرار آن، بهبود شرایط زیست محیطی می‌شود. این پوسته می‌تواند در کنار سایر فناوری‌های فیلتراسیون عمل

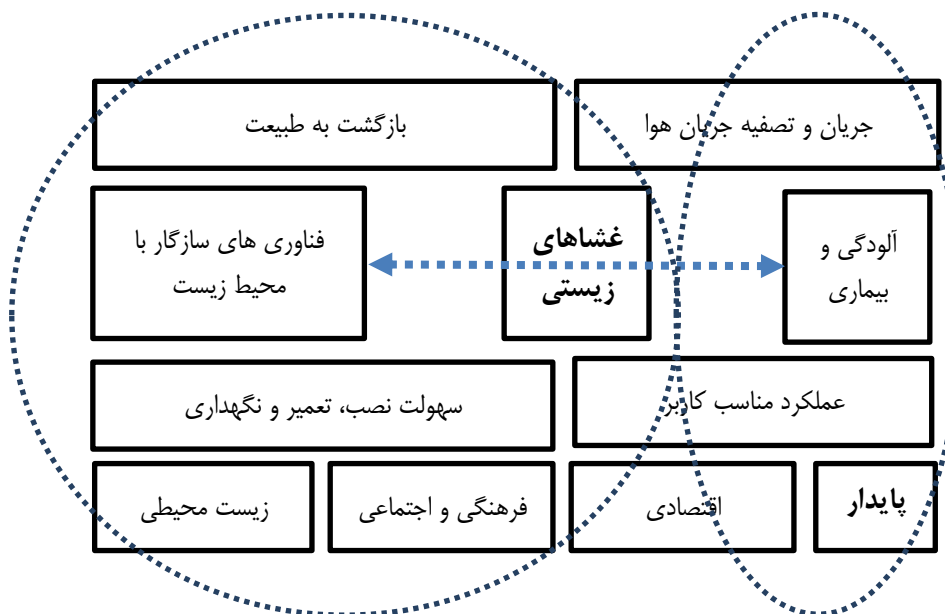
نماید، فناوری‌هایی مانند: ۱- غشاهای فیلترکننده ۲- فیلترهای مکانیکی ۳- فیلترهای الکترواستاتیکی ۴- فیلترهای جاذب ۵- فیلترهای نانوفیبری الکترواسپون و غیره. هماهنگی کامل با فناوری‌های سازگار با محیط زیست و فناوری‌های تولید نانومتریال‌ها مانند مجموعه‌ای هماهنگ عمل می‌کند. از جمله موارد قابل توجه در به‌کارگیری این فناوری، کاهش هزینه‌های مربوط به ترمیم، تعمیر و نگهداری از این فناوری، به دلیل داشتن ویژگی‌های خودترمیمی، خودمونتاژی این پوسته است.

فناوری غشاهای زیستی در محدوده معماری بیونیک مطرح است که خود نوعی معماری زیست‌سازگار و دوستدار طبیعت تداعی می‌کند. از سوی دیگر سازگاری این فناوری با معماری پایدار و معماری سبز است. معماری پایدار به دنبال اثرات مخرب حداقلی به محیط زیست است که از سوی ساختمان‌ها و صنعت ساخت و ساز وارد می‌گردد. این مهم از طریق استفاده بهینه از منابع، انرژی و به طور کل نگاه داشتن بهینه اکوسیستم محقق خواهد شد. کاربرد این فناوری در جهت کاهش آلودگی هوا و در نتیجه آسیب کمتر به محیط زیست، در راستای اهداف معماری پایدار بوده، با آن همگام است. از طرفی در معماری سبز، هدف ایجاد زیرساخت‌هایی با انرژی کارآمد و حداقل آسیب و تأثیرگذاری بر طبیعت است، که در فناوری پیشنهادی پژوهش نیز این اهداف دنبال می‌شود. طراحی فناوری حاضر و همچنین در تمامی این گرایش‌ها اهداف اساسی توسعه پایدار تأمین می‌شود؛ اهدافی از جمله:

- ۱- حداقل آسیب به محیط زیست، ۲- فراهم کردن شرایط زیستن برای نسل‌های آینده ۳. استفاده بهینه از منابع و انرژی ۴- کاهش هزینه‌های مربوط به جبران تخریب‌های زیست محیطی، ۵- باقی‌گذاشتن منابع برای نسل‌های آینده و غیره.

فناوری‌های سازگار با محیط زیست به خوبی می‌توانند با غشاهای زیستی شبه لیپید ترکیب شوند. یافته‌های پژوهش نشان داد که این مولکول‌ها مانند فسفولیپیدهای غشای پلاسمایی، می‌توانند به زنجیره‌های جانبی و مولکول‌های دیگری متصل شوند، تا ذرات آلاینده را جذب، و آن‌ها را به

ذرات بی خطر تبدیل می کنند. بنابراین می توان این پوسته ها را با ویژگی ها و عملکردهای خاص مانند خود ترمیمی، خود مونتاژی و فیلتراسیون هوا تولید کرد.



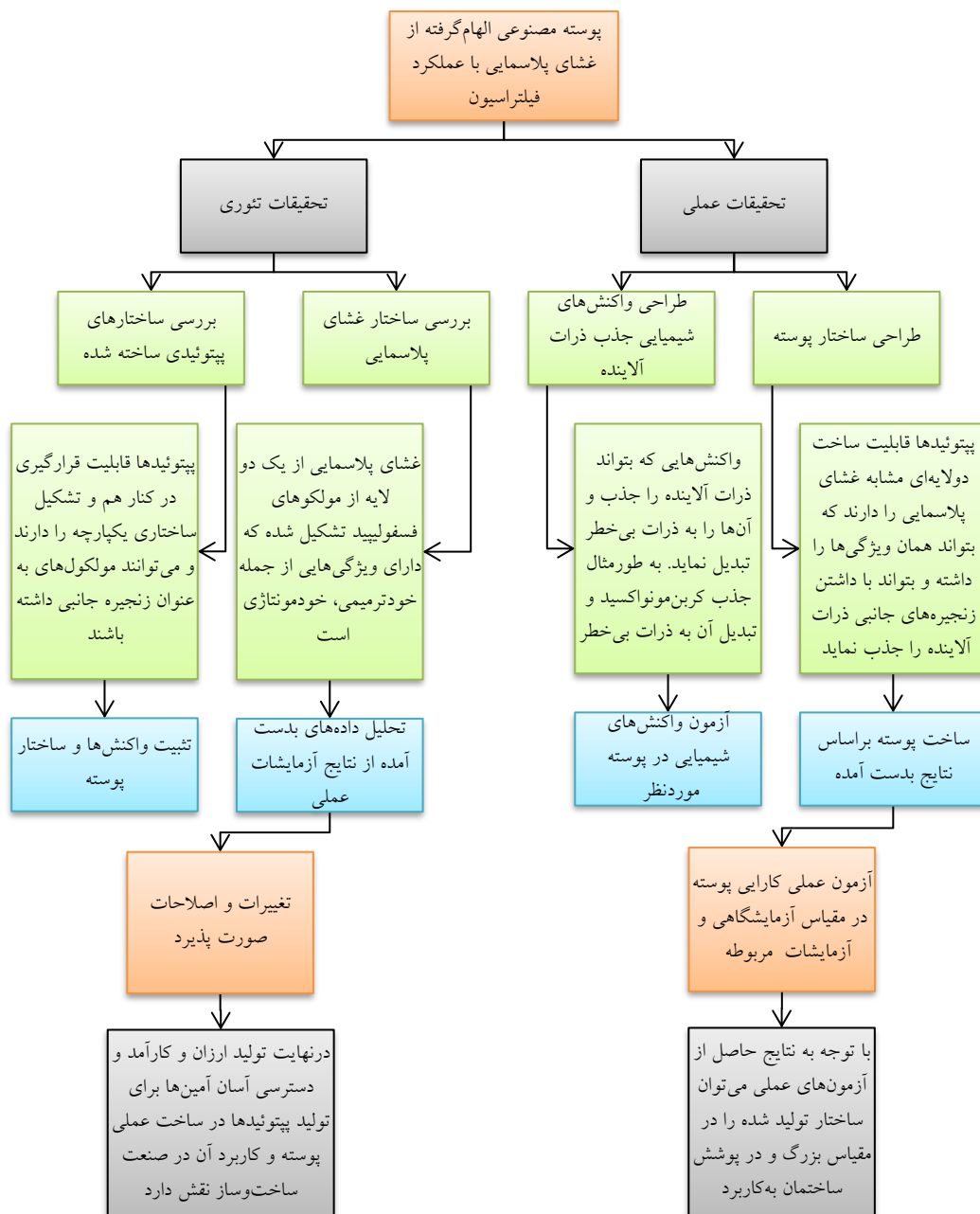
شکل ۷. مدل عملیاتی برای استفاده تجاری از غشاهای زیستی در صنعت ساختمان

- نقش موثر در کاهش میزان آلاینده های هوا و اثرگذاری در تصفیه هوای داخل و خارج ساختمان
- تولید و استفاده از مواد و مصالح ساختمانی که به محیط زیست آسیب کمتری می رسانند
- توسعه به کارگیری مواد کم خطرتر و هماهنگ با حفظ منابع طبیعی به دلیل بازیافت سریعتر، بهتر و بیشتر
- تاکید بر اهمیت بهداشت در داخل ساختمان برای ساکنان
- مواد و مصالح ساختمانی سالم، بی خطر و مفید با هدف سلامت افراد درون ساختمان

تحلیل نتایج بر پایه شبیه سازی اثرات حاصل از بکارگیری پوسته پیشنهادی پژوهش نتایج قابل توجهی را نشان می دهد. جذب ذرات آلاینده هوا، همراه با استفاده از قابلیت تغییر رنگ هشدار در صورت افزایش میزان این

نتایج این پژوهش با معرفی پیتوئیدهای شبه لیپید، پلیمرهای مصنوعی تقلید شده از پیتیدها و پروتئین ها، راهی برای ساخت مصنوعی غشای پلاسمایی به عنوان ساختار پایه پوسته ساختمان ارائه و در واقع استفاده احتمالی از پیتوئیدهای شبه لیپید در صنعت ساختمان را توضیح می دهد. وجود چنین پوسته ای به کاهش ذرات آلاینده درون و بیرون ساختمان کمک کرده و احتمال آسیب های بعدی مانند بیماری های تنفسی در افراد را کاهش می دهد.

نتایج حاصل از این تحقیق بر ضرورت آمادگی برای عصر پس از همه گیری تاکید دارد. تولید ارزان و کارآمد، در دسترس بودن آمین های مورد نیاز برای ساخت زنجیره های پیتوئید، پایداری شیمیایی و مقاومت حرارتی بیشتر پیتوئیدها از فسفولیپیدها، این مولکول ها را به گزینه ای مناسب برای ساخت پوسته های ساختمانی به عنوان مصالح دوستدار محیط زیست، تبدیل می کنند. مهمترین دستاوردهای حاصل از پیاده سازی مدل پیشنهادی در صنعت ساختمان عبارتند از:



شکل ۸. تجاری سازی مواد و مصالح ساختمانی زیست سازگار و دوست دار محیط زیست با تاکید بر دوره بازگشت به طبیعت و سلامت ساکنان

آلاینده‌ها، به نحوی معرف عملکرد ذرات غیرطبیعی تقلید شده از پپتیدها و پروتئین‌ها و شبیه به فسفولیپیدهای غشای سلولی خواهد بود. این پوسته مصنوعی بر اساس شبیه سازی غشای پلاسمایی سلول‌ها، قابلیت‌های قابل ملاحظه ای را به ساختمان می افزاید.

منابع

- تشکر و قدردانی: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.
- تأییدیه های اخلاقی: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.
- تعارض منافع: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.
- سهم نویسندگان در مقاله: نویسنده اول: نگارنده اصلی مقاله، پژوهشگر اصلی، ایده پردازی و توسعه ایده پژوهش و ساختار تحقیق، مدلسازی و ترسیم اجزا (۵۰٪) نویسنده دوم: پژوهشگر اصلی مقاله، کنترل فرآیند، ایده پردازی و ساختار تحقیق (۵۰٪)
- منابع مالی: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.
- 1- Lokhandwala S, Gautam P. Indirect impact of COVID-19 on environment: A brief study in Indian context. *Environmental research*. 2020 Sep 1;188:109807. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109807>
 - 2- Rasoolzadeh M, Moshari M. Prioritizing for Healthy Urban Planning: Interaction of Modern Chemistry and Green Material-based Computation. *Naqshejahan - Basic Studies and New Technologies of Architecture and Planning*. 2021 May 10;11(1):94-105. [Persian] <https://dori.net/dor/20.1001.1.23224991.1400.11.1.7.0>
 - 3- Mohtashami N, Mahdavinejad M, Bemanian M. Contribution of city prosperity to decisions on healthy building design: A case study of Tehran. *Frontiers of Architectural Research*. 2016 Sep 1;5(3):319-31. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2016.06.001>
 - 4- Vanapalli KR, Sharma HB, Ranjan VP, Samal B, Bhattacharya J, Dubey BK, Goel S. Challenges and strategies for effective plastic waste management during and post COVID-19 pandemic. *Science of The Total Environment*. 2021 Jan 1;750:141514. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141514>
 - 5- Sharma HB, Vanapalli KR, Cheela VS, Ranjan VP, Jaglan AK, Dubey B, Goel S, Bhattacharya J. Challenges, opportunities, and innovations for effective solid waste management during and post COVID-19 pandemic. *Resources, Conservation and Recycling*. 2020 Nov 1;162:105052. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105052>
 - 6- Pakdehi, S. G., Rasoolzadeh, M., & Moghadam, A. S. (2016). Barium oxide as a modifier to stabilize the γ -Al₂O₃ structure. *Polish Journal of Chemical Technology*, 18(4), 1-4. <https://doi.org/10.1515/pjct-2016-0062>
 - 7- Pakdehi, S. G., Rasoolzadeh, M., & Zolfaghari, R. (2014a). Synthesize and Investigation of the Catalytic Behavior of Ir/ γ -Al₂O₃ Nanocatalyst. *Advanced Materials Research* (Vol. 829, pp. 163-167). <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.829.163>

- perspective. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. 2016 Aug 6;374(2073):20160192.
<http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2016.0192>
- 16- Mahdavinejad M. Designerly Approach to Energy Efficiency in High-Performance Architecture Theory. *Naqshejahan - Basic Studies and New Technologies of Architecture and Planning*. 2020 Sep 10;10(2):75-83. [Persian]
<https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.1399.10.2.7.5>
- 17- Saadatjoo P, Mahdavinejad M, Zhang G, Vali K. Influence of permeability ratio on wind-driven ventilation and cooling load of mid-rise buildings. *Sustainable Cities and Society*. 2021 Jul 1;70:102894.
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102894>
- 18- Saadatjoo P, Mahdavinejad M, Zhang G. A study on terraced apartments and their natural ventilation performance in hot and humid regions. *Building Simulation*. 2018 Apr 1;11(2):359-372. Tsinghua University Press.
<https://doi.org/10.1007/s12273-017-0407-7>
- 19- Javanroodi K, Nik VM, Mahdavinejad M. A novel design-based optimization framework for enhancing the energy efficiency of high-rise office buildings in urban areas. *Sustainable Cities and Society*. 2019; 49:101597.
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101597>
- 20- Torabi M, Mahdavinejad M. Past and Future Trends on the Effects of Occupant Behaviour on Building Energy Consumption. *J. Sustain. Archit. Civ. Eng.* 2021 Oct 27;29(2) 83-101.
<https://doi.org/10.5755/j01.sace.29.2.28576>
- 21- Ahmadi J, Mahdavinejad M, Larsen OK, Zhang C, Zarkesh A, Asadi S. Evaluating the different boundary conditions to simulate airflow and heat transfer in Double-Skin Facade. *Building Simulation*. 2021 Sep 16:1-17. Tsinghua University Press.
<https://doi.org/10.1007/s12273-021-0824-5>
- 22- Hood SD, Mahmoodi Zarandi M, Kamyabi S. Optimal placement of shadow tools of double-skin facade with the aim of achieving thermal comfort in hot climate. *Naqshejahan-Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning*. 2018 Dec 10;8(3):171-7. [Persian]
- 8- Pakdehi, S. G., Salimi, M., & Rasoolzadeh, M. (2014c). Co-Ni Bimetallic Catalysts Coated on Cordierite Monoliths for Hydrazine Decomposition. *Advanced Materials Research* (Vol. 936, pp. 981-985).
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/A-MR.936.981>
- 9- Rasoolzadeh, M., & Islampour, R. (2011). Estimation of vibrational energy levels of diatomic molecules (CN, CO and CS) using Numerov algorithm and comparison with the empirical values. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(12), 2041-2047. Available from:
https://www.researchgate.net/profile/R-Islampour/publication/266350087_Estimation_of_Vibrational_Energy_Levels_of_Diatomic_Molecules_CN_CO_and_CS_Using_Numerov_Algorithm_and_Comparison_with_the_Empirical_Values/links/55014f090cf2aee14b59199b.pdf
- 10- Short DB, Sirinterlikci A, Badger P, Artieri B. Environmental, health, and safety issues in rapid prototyping. *Rapid Prototyping Journal*. 2015 Jan 19. <https://doi.org/10.1108/RPJ-11-2012-0111>
- 11- Saxena P, Sonwan i S. Criteria air pollutants and their impact on environmental health. Springer; 2019 Nov 14.
<https://doi.org/10.1007/978-981-13-9992-3>
- 12- Lv D, Zhu M, Jiang Z, Jiang S, Zhang Q, Xiong R, Huang C. Green electrospun nanofibers and their application in air filtration. *Macromolecular Materials and Engineering*. 2018 Dec;303(12):1800336.
<https://doi.org/10.1002/mame.201800336>
- 13- Liu G, Xiao M, Zhang X, Gal C, Chen X, Liu L, Pan S, Wu J, Tang L, Clements-Croome D. A review of air filtration technologies for sustainable and healthy building ventilation. *Sustainable cities and society*. 2017 Jul 1;32:375-96.
<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.scs.2017.04.011>
- 14- Yongxiang LU. Significance and progress of bionics. *Journal of Bionic Engineering*. 2004 Mar;1(1):1-3.
<https://doi.org/10.1007/BF03399448>
- 15- Ripley RL, Bhushan B. Bioarchitecture: bioinspired art and architecture—a

- https://doi.org/10.1007/978-3-319-48281-1_136-1
- 31- Bhushan B, Jung YC. Natural and biomimetic artificial surfaces for superhydrophobicity, self-cleaning, low adhesion, and drag reduction. *Progress in Materials Science*. 2011 Jan 1;56(1):1-08. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2010.04.003>
 - 32- Creasy MA, Leo DJ. Self-Healing Bilayer Lipid Membranes Formed Over Synthetic Substrates. In *Smart Materials, Adaptive Structures and Intelligent Systems 2008 Jan 1* (Vol. 43321, pp. 601-606). <https://doi.org/10.1115/SMASIS2008-460>
 - 33- Sych T, Mély Y, Römer W. Lipid self-assembly and lectin-induced reorganization of the plasma membrane. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2018 May 26;373(1747):20170117. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2017.0117>
 - 34- Sun J, Zuckermann RN. Peptoid polymers: a highly designable bioinspired material. *ACS nano*. 2013 Jun 25;7(6):4715-32. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Peptoid_struc_synth.png
 - 35- 15. AaronáLau KH. Peptoids for biomaterials science. *Biomaterials science*. 2014;2(5):627-33. <https://doi.org/10.1039/C3BM60269A>
 - 36- Mannige RV, Haxton TK, Proulx C, Robertson EJ, Battigelli A, Butterfoss GL, Zuckermann RN, Whitelam S. Peptoid nanosheets exhibit a new secondary-structure motif. *Nature*. 2015 Oct;526(7573):415-20. <https://doi.org/10.1038/nature15363>
 - 37- Mahdavinejad M, Hosseini SA. Data mining and content analysis of the jury citations of the Pritzker Architecture prize (1977–2017). *Journal of Architecture and Urbanism*. 2019 Feb 1;43(1):71-90. <https://doi.org/10.3846/jau.2019.5209>
 - 38- Mahdavinejad M, Zia A, Larki AN, Ghanavati S, Elmi N. Dilemma of green and pseudo green architecture based on LEED norms in case of developing countries. *International journal of sustainable built environment*, 2014 Dec 1;3(2):235-46. <https://doi.org/10.1016/j.ijse.2014.06.003>
 - 39- Rahbar M, Mahdavinejad M, Bemanian M, Davaie Markazi AH, Hovestadt L. Generating <https://dori.net/dor/20.1001.1.23224991.1397.8.3.4.0>
 - 23- Talaei M, Mahdavinejad M, Azari R. Thermal and energy performance of algae bioreactive façades: A review. *Journal of Building Engineering*. 2020 Mar 1;28:101011. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2019.101011>
 - 24- Aliabadi M, Zarkesh A, Mahdavinejad M. Bioware fog collectors: the Texas horned lizard as a model for a biomimetic fog-harvesting. *Materials Research Express*. 2018 Sep 5;5(11):115502. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/aadab4>
 - 25- Talaei M, Mahdavinejad M. Probable cause of damage to the panel of microalgae bioreactor building façade: Hypothetical evaluation. *Engineering Failure Analysis*. 2019 Jul 1;101:9-21. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.02.060>
 - 26- Jin H, Jiao F, Daily MD, Chen Y, Yan F, Ding YH, Zhang X, Robertson EJ, Baer MD, Chen CL. Highly stable and self-repairing membrane-mimetic 2D nanomaterials assembled from lipid-like peptoids. *Nature Communications*. 2016 Jul 12;7(1):1-8. <https://doi.org/10.1038/ncomms12252>
 - 27- Orlando R, Fojan P, Mo J, Bergsøe NC, Afshari A. Single-Stage Air Filtration of Particles and Gaseous Contaminants in Buildings: A Literature Study. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2020 Nov 1* (Vol. 588, No. 3, p. 032073). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/588/3/032073>
 - 28- Al-Obaidi KM, Ismail MA, Hussein H, Rahman AM. Biomimetic building skins: An adaptive approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017 Nov 1;79:1472-91. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.028>
 - 29- Badarnah L, Kadri U. A methodology for the generation of biomimetic design concepts. *Architectural Science Review*. 2015 Apr 3;58(2):120-33. <http://dx.doi.org/10.1080/00038628.2014.922458>
 - 30- Imani N, Donn M, Balador Z. Bio-Inspired Materials: Contribution of Biology to Energy Efficiency of Buildings. *Handbook of Ecomaterials*. 2018:2213-36.

- 46- Goharian A, Mahdaveinejad M, Bemanian M, Daneshjoo K. Designerly optimization of devices (as reflectors) to improve daylight and scrutiny of the light-well's configuration. *Building Simulation*. 2021 Oct 9 (pp. 1-24). Tsinghua University Press. <https://doi.org/10.1007/s12273-021-0839-y>
- 47- Pilechiha P, Mahdaveinejad M, Rahimian FP, Carnemolla P, Seyedzadeh S. Multi-objective optimisation framework for designing office windows: quality of view, daylight and energy efficiency. *Applied Energy*. 2020 Mar 1; 261: 114356. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114356>
- 48- Eskandari H, Saedvandi M, Mahdaveinejad M. The impact of Iwan as a traditional shading device on the building energy consumption. *Buildings*. 2018; 8(1):3. <https://doi.org/10.3390/buildings8010003>
- 49- Fallah H. Determining the Most Efficient Window-to-Wall Ratio in Southern Façade of Educational Buildings in Kerman. *Naqshejahan - Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning*. 2019 Sep 10;9(2):105-115. [Persian] <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.1398.9.2.3.4>
- 50- Hadianpour M, Mahdaveinejad M, Bemanian M, Haghshenas M, Kordjamshidi M. Effects of windward and leeward wind directions on outdoor thermal and wind sensation in Tehran, Building and Environment. 2019 Mar 1;150:164-180. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.12.053>
- 51- Bolouhari S, Barbera L, Etesam I. Learning Traditional Architecture for Future Energy-Efficient Architecture in the Country; Case Study: Yazd City. *Naqshejahan - Basic Studies and New Technologies of Architecture and Planning*. 2020 Sep 10;10(2):85-93. [Persian] <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.1399.10.2.3.1>
- 52- Rahmati M, Silva EA, Reseland JE, Heyward CA, Haugen HJ. Biological responses to physicochemical properties of biomaterial surface. *Chemical Society Reviews*. 2020;49(15):5178-224. <https://doi.org/10.1039/D0CS00103A>
- Synthetic Space Allocation Probability Layouts Based on Trained Conditional-GANs. *Applied Artificial Intelligence*. 2019 Jul 3;33(8):689-705. <https://doi.org/10.1080/08839514.2019.1592919>
- 40- Ansarimanesh M, Nasrollahi, N. Determination of occupant's thermal comfort zone to maximize the quality of indoor environment in office buildings of Kermanshah. *Naqshejahan - Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning*. 2014;4(2):11-21. [Persian] Available from: <http://bsnt.modares.ac.ir/article-2-29326-fa.html>
- 41- Ahmadi J, Mahdaveinejad M, Asadi S. Folded double-skin façade (DSF): in-depth evaluation of fold influence on the thermal and flow performance in naturally ventilated channels. *International Journal of Sustainable Energy*. 2021 Jun 16:1-30. <https://doi.org/10.1080/14786451.2021.1941019>
- 42- Talaei M, Mahdaveinejad M, Azari R, Prieto A, Sangin H. Multi-objective optimization of building-integrated microalgae photobioreactors for energy and daylighting performance. *Journal of Building Engineering*. 2021 Jun 5:102832. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2021.102832>
- 43- Aliabadi M, Zarkesh A, Siampour H, Abbasian S, Mahdaveinejad M, Moshaii A. Bioinspired Azimuthally Varying Nanoscale Cu Columns on Acupuncture Needles for Fog Collection. *ACS Applied Nano Materials*. 2021 Sep 15. <https://doi.org/10.1021/acsanm.1c01288>
- 44- Bazazzadeh H, Pilechiha P, Nadolny A, Mahdaveinejad M, Hashemi Safaei SS. The Impact Assessment of Climate Change on Building Energy Consumption in Poland. *Energies* 2021 July 06;14(14):4084. <http://dx.doi.org/10.3390/en14144084>
- 45- Hadianpour M, Mahdaveinejad M, Bemanian M, Nasrollahi F. Seasonal differences of subjective thermal sensation and neutral temperature in an outdoor shaded space in Tehran, Iran. *Sustainable Cities and Society*. 2018 May 1; 39: 751-64. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.03.003>

- 53- Abasi M, Tahbaz M, Vafae R. Introducing an Innovative Variable Building Layers System (V.B.L.S). Naqshejahan - Basic Studies and New Technologies of Architecture and Planning. 2015 Jun 10;5(2):43-54. [Persian] <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.1394.5.2.1.4>
- 54- Megahed NA, Ghoneim EM. Antivirus-built environment: Lessons learned from Covid-19 pandemic. Sustainable cities and society. 2020 Oct 1;61:102350. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102350>
- 55- Megahed NA, Ghoneim EM. Indoor Air Quality: Rethinking rules of building design strategies in post-pandemic architecture. Environmental Research. 2021 Feb 1;193:110471. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110471>